

**УДК 621.317**

**Валерій Мартинюк, д.т.н., проф.**

Хмельницький національний університет, Україна

## **ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ЗАХИСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАГРІВАЧІВ ВОДИ**

Розроблено структурну схему пристрою контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричних нагрівачів води по перериванню постійного струму катодного захисту.

Ключові слова: контроль захисного потенціалу, антикорозійний захист, достовірність контролю, електричний нагрівач води.

**Valeriy Martynyuk**

## **LIGHTING OPTIONS OF LIGHT SOURCES**

The structural scheme of the device for controlling the protective potential of anti-corrosion protection of electric water heaters by interrupting the direct current of cathode protection is developed.

Keywords: control of protective potential, anticorrosion protection, reliability of control, electric water heater.

Захист металів від корозії - одна з найважливіших народногосподарських проблем, так як втрати від корозії в промисловості, транспорті та інших галузях економіки можна порівняти з витратами на розвиток найбільших галузей промисловості.

Сумарний збиток в результаті корозії металів досягає в промислово розвинених країнах 5 - 10% національного доходу. Так, в США він оцінюється в 90 млрд. доларів, у ФРН - до 8 млрд. євро, в країнах колишнього СРСР - 40 млрд. рублів на рік [1].

В ряду металоконструкцій з підвищеною трудомісткістю виготовлення знаходяться технологічні та побутові системи для зберігання і обробки технічної та питної води. Значна частина продукції виготовляється, з використанням низьколегованої вуглецевої сталі з емальованою поверхнею.

Застосування легованої нержавіючої сталі здорожує продукцію, знижує її ринкові якості. Крім того, підвищений вміст іонів хлору в воді і водних електролітах знижує корозійну стійкість і може викликати локальне або точкове руйнування поверхні легованих сплавів. Зважаючи на це прилади й агрегати, виготовлені з нержавіючої сталі, також повинні оснащуватися антикорозійним захистом [2].

Швидкість корозії металу у воді, ґрунті та водних розчинах залежить від потенціалу  $E$  матеріалу в навколишнє середовище. При зміщенні потенціалу в напрямку негативних значень швидкість корозії знижується, що досягається за допомогою електричного постійного струму, прикладеного через систему анодів до металевої поверхні, що захищається. В сукупності це складає важливу науково-прикладну задачу та визначає актуальність теми дослідження.

Катодний захист зовнішнім постійним струмом - це спосіб захисту конструкції примусовою катодною поляризацією за допомогою зовнішнього джерела постійного струму, який полягає в поляризації катодних ділянок локальних елементів на поверхні металу до потенціалу неполяризована анодних ділянок [3]. Поверхня виробу, який захищається, стає еквіпотенційною (потенціали катодних і анодних ділянок рівні), по відношенню до спеціально приєднаного для забезпечення поляризації анода.

Катодна поляризація конструкції, яка захищається, повинна здійснюватися

таким чином, щоб стаціонарні потенціали металу знаходилися в межах від -0,85 В до -1,15 В по мідно-сульфатному електроду порівняння.

Недоліком катодного захисту зовнішнім постійним струмом є велика похибка вимірювання, внаслідок впливу постійно прикладеного захисного потенціалу, виникнення автоколивань при автоматичному регулюванні, а також необхідність регулярного юстування електрода порівняння і витрати на нього.

Подолання зазначених недоліків катодного захисту зовнішнім постійним струмом можливо за допомогою використання катодного захисту від корозії потенціостатом, який працює по перериванню [4].

Переривання постійного струму катодного захисту дозволяє збільшити інструментальну достовірність процесу контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричного нагрівача води за рахунок зменшення методичної похибки вимірювання захисного потенціалу антикорозійного захисту.

Розглянемо структурну схему розробленого пристрою контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричного нагрівача води по перериванню постійного струму катодного захисту (рис. 1).

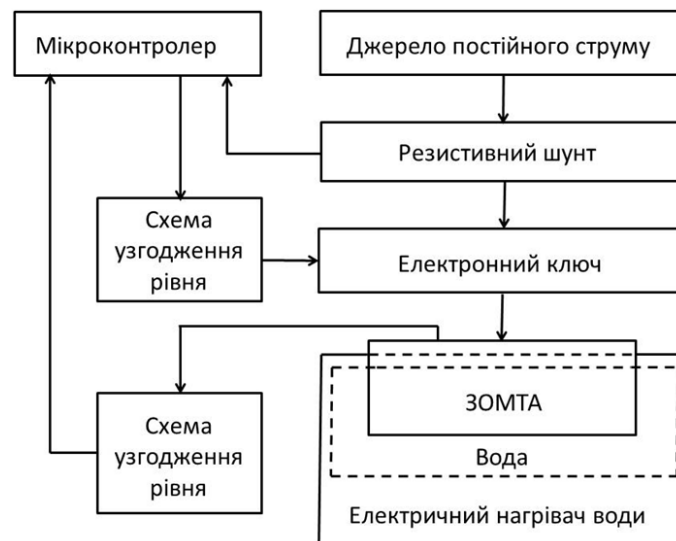


Рис. 1. Структурна схема пристрою контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричного нагрівача води по перериванню постійного струму катодного захисту

Структурна схема складається з наступних блоків:

- мікроконтролер;
- джерело постійного струму;
- резистивний шунт;
- електронний ключ;
- дві схеми узгодження рівня;
- змішаний оксидно-металевий титановий анод (ЗОМТА);
- електричний нагрівач води.

Підтримка величини потенціалу електричного нагрівача води в межах від -0,54 В до -1,15 В здійснюється шляхом регулювання мікроконтролером, за допомогою сигналу керування з виходу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) мікроконтролера, тривалості імпульсів струму, які проходять від джерела постійного струму через електронний ключ.

Вимірювання величини потенціалу Уп електричного нагрівача води здійснюється в проміжках часу між пачками імпульсів струму за допомогою аналого-

цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера.

Відомо [5], що на межі поділу між металом і розчином електроліту виникає подвійний електричний шар (ПЕШ). Система корпус-вода-ЗОМТА є фільтром низької частоти з частотою зрізу, що залежить від параметрів середовища і конструкції електродів.

На корпус, який захищається від корозії, за допомогою електронного ключа і ЗОМТА подається напруга керування  $U_{кер}$  у вигляді одно полярної ШІМ з тривалістю  $t_{вкл}$  і періодом  $T$ , як показано на рис. 2.

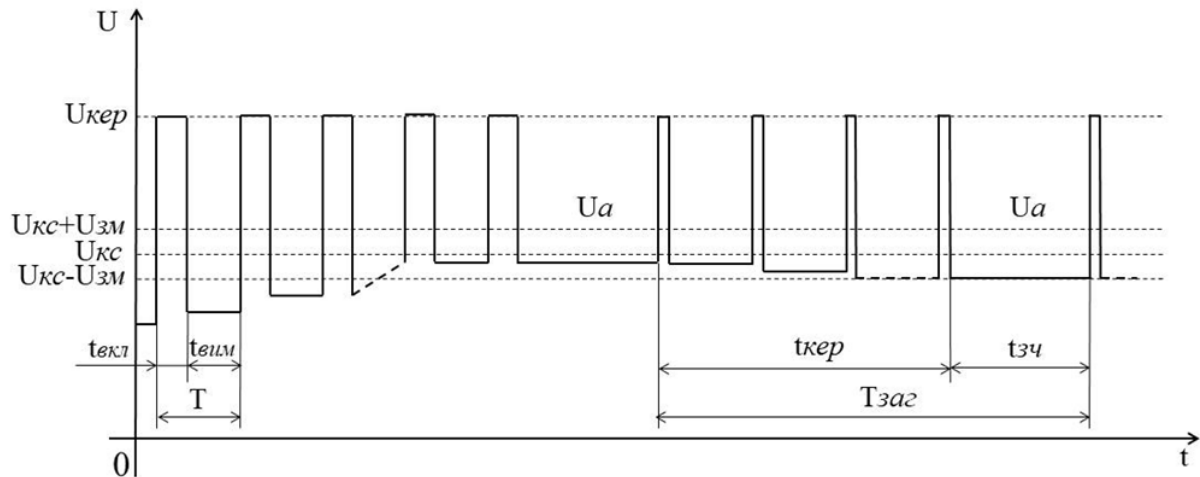


Рис. 2. Осцилограма напруга керування  $U_{кер}$  у вигляді однополярної ШІМ

Рівень середнього значення напруги управління  $U_{кер}$ , визначається формулою:

$$U_{кс} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{вкл}} (U_{кер} - U_a) dt + \frac{1}{T} \int_{t_{вкл}}^T U_a dt, \quad (1)$$

де  $T$  – період імпульсів ШІМ;

$t_{вкл}$  – тривалість імпульсу ШІМ;

$U_{кер}$  – напруга керування на виході електронного ключа;

$U_a$  – напруга, що вимірюється на аноді, результуюча напруга на поляризаційному шарі, як результат інтегрування напруги ШІМ.

Напруга керування  $U_{кер}$  у вигляді однополярної ШІМ надходить на об'єкт, що захищається від корозії, протягом часу керування  $t_{кер}$ , після цього напруга керування  $U_{кер}$  вимикається (здійснюється його переривання) на час зчитування  $t_{зч}$ , а ЗОМТА використовується в якості вимірювального електрода для вимірювання значення захисного потенціалу. Рівень середнього значення захисного потенціалу протягом загального часу  $T_{заг} = t_{кер} + t_{зч}$ , визначається формулою:

$$U_{зс} = \frac{1}{T_{заг}} \int_0^{t_{кер}} U_{кс} dt + \frac{1}{T_{заг}} \int_{t_{кер}}^{T_{заг}} U_a dt. \quad (2)$$

Враховуючи, що при вимірюванні середнього значення  $U_{зс}$  захисного потенціалу, імпульс струму відсутній, то і відсутні паразитні спади напруг на активних опорах кола корпус-вода-ЗОМТА. А це призводить до підвищення точності вимірювання середнього значення захисного потенціалу електричного нагрівача води, який захищається від корозії.

Напруга  $U_a$ , яка вимірюється на аноді, має перебувати в межах допуску встановленого значення  $U_{кс}$ , як показано на рис. 2. Величина допуску для напруги  $U_a$  задається напругою зміщення  $U_{зм}$ . Тривалість імпульсу ШІМ  $t_{вкл}$  не змінюється, якщо виконується нерівність:

$$U_{кер} - U_{зм} < U_a < U_{кер} + U_{зм}. \quad (3)$$

Тривалість імпульсу ШІМ  $t_{вкл}$  збільшується, якщо  $U_a < U_{кер} - U_{зм}$  і тривалість імпульсу ШІМ  $t_{вкл}$  зменшується, якщо  $U_a > U_{кер} + U_{зм}$ . Напруга  $U_a$  є функцією від параметрів середовища, конструкції електродів, прикладеної напруги і шпаруватості імпульсів ШІМ.

Вимірювання струму антикорозійного захисту використовується для об'єктивного контролю захисного струму і тенденції його зміни, а також забезпечення індикації нештатного (аварійного) стану.

На структурній схемі (рис. 1) для вимірювання струму поляризації використовується резистивний шунт, на якому вимірюється падіння напруги ( $U_{ш1}$  -  $U_{ш2}$ ) за допомогою АЦП мікроконтролера при проходженні через анод імпульсів струму ШІМ. Середній струм через резистивний шунт  $R_{ш}$  визначається формулою:

$$I_{кс} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{вкл}} \frac{U_{ш1} - U_{ш2}}{R_{ш}} dt + \frac{1}{T} \int_{t_{вкл}}^T \frac{U_{ш1} - U_{ш2}}{R_{ш}} dt, \quad (4)$$

де  $T$  – період імпульсів ШІМ;

$t_{вкл}$  – тривалість імпульсу ШІМ;

$U_{ш1}$  – напруга, яка вимірюється до резистивного шунта  $R_{ш}$ ;

$U_{ш2}$  – напруга, яка вимірюється після резистивного шунта  $R_{ш}$ .

Протягом періоду часу від  $t_{вкл}$  до  $T$  струм через резистивний шунт  $R_{ш}$  не проходить, тоді середній струм через резистивний шунт  $R_{ш}$ , визначається формулою:

$$I_{кс} = \frac{1}{TR_{ш}} \int_0^{t_{вкл}} (U_{ш1} - U_{ш2}) dt. \quad (5)$$

Рівень середнього значення струму через резистивний шунт  $R_{ш}$  протягом загального часу  $T_{заг} = t_{кер} + t_{зч}$ , визначається формулою:

$$I_{зс} = \frac{1}{T_{заг}} \int_0^{t_{кер}} I_{кс} dt = \frac{1}{T_{заг} \cdot T \cdot R_{ш}} \int_{t_{кер}}^{T_{заг}} \int_0^{t_{вкл}} (U_{ш1} - U_{ш2}) dt dt. \quad (6)$$

Якщо  $I_{зс} > I_{мах}$  максимально-допустимого значення струму резистивного шунта, то в колі анода є коротке замикання з корпусом. Якщо  $I_{зс} < I_{мін}$ , то ЗОМТА знаходиться в розриві від корпусу, або відсутня вода. При короткому замиканні або розриві кола ЗОМТА мікроконтролер сигналізує про аварійну ситуацію.

## Література

1. Азаренков Н.А. Коррозия и защита металлов. Часть 1. Химическая коррозия металлов. Учебное пособие / Н.А. Азаренков, С.В. Литовченко, И.М. Неклюдов, П.И. Стоев. – Харьков: ХНУ, 2007, 187 с.
2. Baeckmann W. Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes: Theorie und Praxis der elektrochemischen Schutzverfahren / W. Baeckmann, W. Schwenk – Weinheim: Wiley-VCH, 1999 – 530 p.
3. Шалыгина О.В. Проблемы защиты нагревательной аппаратуры от коррозии / О.В. Шалыгина, А.Ю. Бровин, Г.И. Миронова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 2 – С. 22 – 26.
4. Rickert H. Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit Unterbrecherpotentiostaten / H. Rickert, G. Holzäupfel, Ch. Fianda // Werkstoffe und Korrosion. – 1987. – V. 38, Issue 11, P. 691–695.
5. Martynyuk V. V. Fractional Model of an Electrochemical Capacitor / V. V. Martynyuk, M. D. Ortigueira // Journal of Signal Processing. – V. 107, 2015, pp. 355–360.